

ANALISA PERHITUNGAN ENERGI LISTRIK PADA SEPEDA LISTRIK HYBRID

Dhimas Satria^{1,*}, Rina Lusiani², Haryadi³, Imron Rosyadi⁴, Ahmad Fauzi⁵

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
Jl. Jendral Sudirman km 03, Cilegon, Banten, Indonesia, 42435

*Email: dhimas@untirta.ac.id

Diterima: 05-04-2017

Direvisi: 15-04-2017

Disetujui: 01-06-2017

ABSTRAK

Di zaman yang semakin modern ini banyak kebutuhan yang semakin meningkat, salah satunya adalah energi. Energi fosil telah lama sebagai bahan bakar utama yang digunakan pada mesin-mesin. Pemanfaatan energi yang dilakukan secara berlebihan semakin menurunkan ketersediaan energi fosil tersebut. Untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang pembentukannya sangat lama dan cepat habis, maka dari itu dibutuhkan adanya pemanfaatan energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan mudah didapat. Dalam penelitian ini dilakukan analisa energi listrik pada sepeda listrik *hybrid*. Dalam analisa ini meliputi pemanfaatan energi listrik dan konsumsi energi listrik pada sepeda listrik *hybrid* dengan hasil pengujian untuk memanfaatkan energi yang terbuang pada sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 25 km/jam saat kondisi jalan mendatar yaitu 9,36 watt. Sedangkan dengan pemanfaatan energi yang terbuang pada kecepatan 20 km/jam saat kondisi jalan mendatar, daya yang dibangkitkan alternator sebesar 8,16 watt. Sedangkan pada kondisi jalan menurun pada kecepatan 15 km/jam saat kondisi jalan menurun adalah 3 watt dan pada kecepatan 10 km/jam daya yang dibangkitkan sebesar 0,03 watt. Untuk konsumsi energi listrik daya yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* pada pembebanan awal dengan jarak 25 meter dan waktu tempuh 12,83 detik adalah 87,61 watt, sedangkan untuk kondisi jalan mendatar pada kecepatan konstan 20 km/jam adalah sebesar 29,42 watt dengan menempuh jarak 475 meter. Sedangkan daya yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* pada beban perjalanan mendaki sejauh 25 meter dengan kemiringan 220 pada kecepatan 5 km/jam akan menghabiskan daya sebesar 483,85 watt.

Kata kunci: Sepeda listrik, performa, pemanfaatan energi, konsumsi energi.

ABSTRACT

In this increasingly modern era, many needs are increasing, one of which is energy. Fossil energy has long been the main fuel used on machines. Excessive use of energy further decreases the availability of fossil energy. To reduce the dependence on fossil energy that its formation is very long and quickly exhausted, hence the need for the utilization of alternative energy more environmentally friendly and easy to get. In this research, electrical energy analysis on hybrid electric bikes is done. In this analysis includes the utilization of electrical energy and electrical energy consumption on a hybrid electric bike with the test results to utilize the energy wasted on a hybrid electric bike at a speed of 25 km / h when the horizontal road condition is 9.36 watts. Whereas with the utilization of wasted energy at a speed of 20 km / h when the road conditions horizontally, the generator generated power of 8.16 watts. While on road conditions decreases at a speed of 15 km / h when the road conditions decrease is 3 watts and at a speed of 10 km / h power raised by 0.03 watts. For electric energy consumption of power used by hybrid electric bikes at the initial loading with a distance of 25 meters and travel time of 12.83 seconds is 87.61 watts, while for horizontal road conditions at a constant speed of 20 km / h is 29.42 watts with Covering 475 meters. While the power used by a hybrid electric bike on a ride load up to 25 meters with a slope of 220 at a speed of 5 km / h will consume power of 483.85 watts.

Keywords: Electric bikes, performance, energy utilization, energy consumption

PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan sepeda sebagai alat transportasi alternatif semakin meningkat. Di kota-kota besar telah dibuat jalur khusus bagi pengguna sepeda bahkan undang-undang khusus bagi pengendara sepeda. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pemanfaatan energi yang lebih ramah lingkungan. Semakin meningkatnya teknologi berdampak pada teknologi yang diaplikasikan pada sepeda saat ini, salah satunya adalah sepeda listrik. Awalnya sepeda hanya digunakan dengan cara dikayuh namun saat ini telah banyak sepeda yang memanfaatkan tenaga listrik untuk menggerakannya sebagai tenaga tambahan.

Memanfaatkan putaran roda dan putaran *flywheel* untuk memutar alternator yang nantinya akan menghasilkan listrik, kemudian energi listrik tersebut disimpan pada akumulator. Pada saat akan digunakan maka energi listrik pada akumulator disalurkan pada mesin saat berfungsi sebagai motor listrik untuk memutar roda belakang. Proses dalam menghasilkan energi listrik ini yang dimanfaatkan sebagai energi terbarukan pada penggunaan sepeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produksi energi listrik dari energi yang dimanfaatkan pada saat pengereman dan untuk Mengetahui konsumsi daya listrik yang digunakan oleh motor listrik/*dymano* pada sepeda listrik *hybrid*.

METODE PENELITIAN

Cara Kerja Sepeda Listrik *Hybrid*

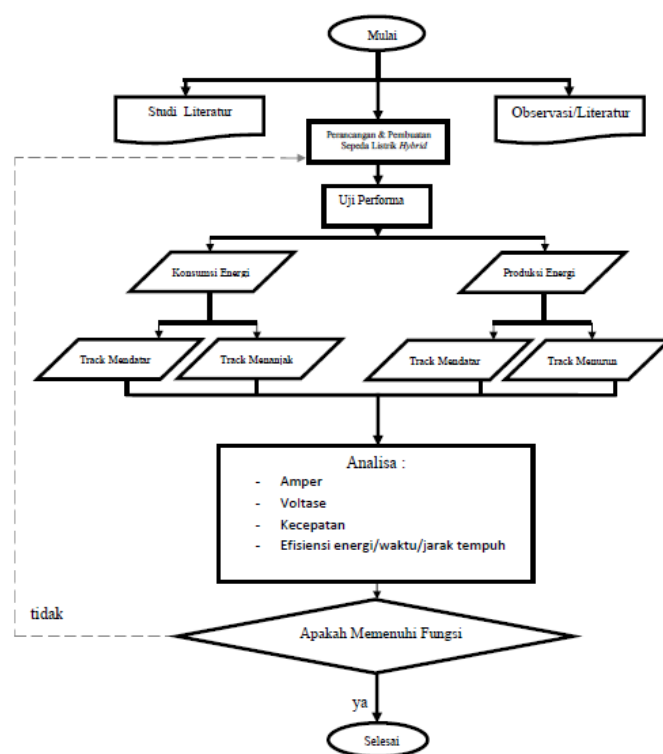
Pada sepeda listrik *hybrid* ini terdapat cara kerja untuk menghasilkan energi listrik yang dimanfaatkan dari pengereman untuk memutar *flywheel* yang ditransmisikan roda belakang sepeda listrik *hybrid* agar dapat memutar alternator yang dapat menghasilkan energi listrik. Pada konsumsi energi listrik, tuas gas dapat diputar sehingga arus dapat dikontrol dari putaran tuas gas, kemudian arus juga berfungsi untuk memutar motor listrik sebelum arus dari akumulator mensuplay arus ke motor listrik.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah menganalisa energi listrik pada sepeda listrik *hybrid* dengan variasi lintasan, beban, dan

kecepatan. Pengumpulan data yang diambil yaitu dari mengkombinasikan kondisi jalan yang menanjak, menurun, mendatar, perbedaan beban, dan perbedaan kecepatan. Sehingga dari beberapa kondisi tersebut dapat diukur besarnya energi listrik yang dibangkitkan dan digunakan. Dari penelitian yang dilakukan akan diambil data berupa tegangan, arus, daya, dan waktu untuk dapat mengetahui seberapa besar kemampuan sepeda listrik *hybrid* dapat membangkitkan energi listrik dan dapat mengetahui seberapa besar konsumsi energi listrik pada sepeda listrik *hybrid*.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Perancangan dan Pembuatan Sepeda Listrik *Hybrid*

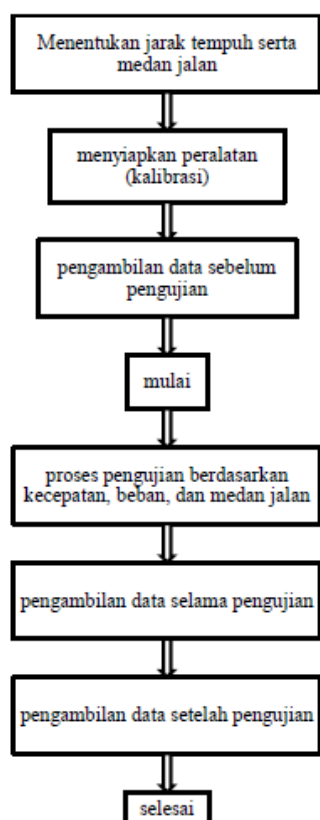
Dalam perancangan sepeda listrik *hybrid* harus memenuhi fungsi utama yaitu sebagai alat transportasi yang dapat dikendarai serta memiliki performa sebaik mungkin, agar dalam proses pembuatan sepeda listrik *hybrid* ini lebih mudah dalam pengerjaan tujuan utamanya serta sesuai dengan harapan.

Kriteria Alanisa Sepeda Listrik *Hybrid*

Sebelum menentukan kriteria performa dari sepeda listrik *hybrid* terlebih dahulu merancang suatu konsep atau prosedur pengujian dalam proses pengambilan data, adapun data yang harus didapatkan adalah sebagai berikut:

Informasi lingkungan, Informasi produksi dan konsumsi energi listrik, Informasi bobot pengendara, Mengevaluasi, Dokumentasi. Kriteria performa pada sepeda listrik *hybrid* ini terdapat dua buah yaitu menganalisa energy listrik pada sepeda listrik *hybrid* ini dilakukan dengan pengujian performa dengan kondisi jalan, beban, dan kecepatan yang bervariasi. Agar dapat mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada sepeda listrik *hybrid*. Kemudian mengambil langkah perbaikan sampai memperoleh performa terbaik. Metode pengujian ini meliputi peralatan pengujian dan tahap-tahap pengujian yang dilakukan.

Diagram Prosedur Pengambilan Data



Gambar 2. Diagram alir pengujian

Persiapan pengujian

Persiapan pengujian adalah persiapan-persiapan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian. Persiapan ini meliputi tahap, antara lain:

Seorang pengendara menggunakan APD yang telah dipersiapkan, Menimbang massa sepeda listrik *hybrid* berikut dengan pengendara dan aksesorisnya, Menentukan jarak tempuh dan kondisi jalan yang akan digunakan sepeda listrik *hybrid* pada saat pengujian.

Untuk produksi energi listrik, kondisi jalan saat sepeda listrik dikayuh sepanjang 450 meter dan saat pengereman 50 meter dengan kecepatan 20 km/jam, menurun sepanjang 25 meter dengan sudut kemiringan 22° dengan kecepatan 20 km/jam.

Untuk konsumsi energi listrik, kondisi jalan saat sepeda listrik dengan jalan mendatar 500 meter dengan kecepatan 20 km/jam, menanjak sepanjang 20 meter dengan sudut kemiringan 22° dengan kecepatan 10 km/jam.

Jalannya pengujian

Setelah memasang alat uji pada rangkaian, pada pengujian ini seorang driver lengkap dengan alat pelindung diri akan mengendarai sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan konstan sebesar 20 km/jam.

Pengujian produksi energi listrik saat jalan mendatar, sepeda berjalan sepanjang 450 meter untuk mendapatkan kecepatan konstan yang diinginkan. Setelah mencapai jarak 450 meter sepeda listrik *hybrid* tidak berhenti, melainkan melanjutkan perjalanan dengan mengurangi kecepatan karena terjadi pemanfaatan energi sepanjang 50 meter yang dimana jumlah keseluruhan jarak tempuh dari sepeda listrik *hybrid* adalah sepanjang 500 meter hal ini dilakukan untuk mengetahui besaran tegangan dan arus yang bangkitkan selama perjalanan serta waktu tempuh yang digunakan sepeda listrik *hybrid*.

Pengujian produksi energi listrik saat jalan menurun, hal ini dilakukan dengan menempuh jarak sepanjang 25 meter dengan sudut kemiringan 22° sepeda listrik *hybrid* dijalankan dari garis start dari kondisi diatas puncak serta finish berada dibawah. Selama menurun terjadi pemanfaatan energi untuk mengetahui besaran tegangan dan arus yang digunakan selama perjalanan serta waktu tempuh yang digunakan sepeda listrik *hybrid*.

Pengujian konsumsi energi listrik saat jalan mendatar, dengan kondisi awal yang mendatar 25 meter ini merupakan sebuah beban awal yang digunakan sepeda listrik *hybrid* karena untuk mendapatkan kecepatan dan arus yang konstan. Setelah mencapai jarak 25 meter sepeda listrik *hybrid* tidak berhenti, melainkan melanjutkan perjalanan sepanjang 475 meter yang dimana jumlah keseluruhan jarak tempuh dari sepeda listrik *hybrid* adalah sepanjang 500 meter hal ini dilakukan untuk mengetahui besaran tegangan dan arus yang digunakan selama perjalanan serta waktu tempuh yang digunakan sepeda listrik *hybrid*.

Pengujian konsumsi energi listrik saat jalan mendaki, hal ini dilakukan dengan menempuh jarak sepanjang 25 meter dengan sudut kemiringan 22° sepeda listrik *hybrid* dijalankan dari garis start dari kondisi mendaki serta *finish* berada pada atas bukit.

Dari keseluruhan pengujian baik produksi dan konsumsi energi listrik seorang pengendara sepeda listrik *hybrid* harus berkonsentrasi pada medan jalan, ia juga dituntut untuk sesekali melihat besaran arus yang digunakan dan dikeluarkan selama berkendara. Pengujian sepeda listrik *hybrid* dibantu dengan beberapa kru team lainnya yang berada pada garis start dan finish yaitu bertugas sebagai pencatat waktu yang digunakan oleh driver.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Energi Listrik Pada Sepeda Listrik Hybrid Saat Jalan Mendatar

Setelah melakukan pengujian performa dengan variasi yang telah ditentukan, selanjutnya akan dianalisa performa yang dibangkitkan pada tiap-tiap komponen pada sepeda listrik *hybrid*. Diantaranya yaitu pada komponen akumulator dan alternator yang membangkitkan energi listrik dari pemanfaatan energi yang terbuang pada sepeda listrik *hybrid*, sehingga akan diketahui produksi energi listrik dari keseluruhannya.

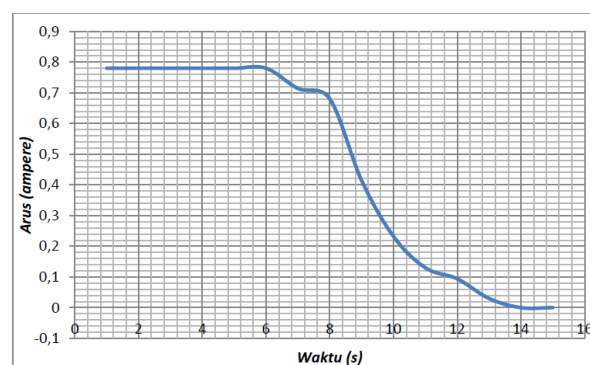
Pengambilan data juga dilakukan sebanyak 5 kali dengan interval waktu dan kecepatan yang berbeda, hal ini bertujuan untuk mendapatkan data yang valid dan menghindari kesalahan dalam pengambilan data. Langkah pertama untuk mengetahui produksi energi listrik dari sepeda listrik *hybrid* ini adalah dengan cara menganalisa data dari hasil percobaan pada kondisi jalan menurun dan mendatar dengan

kecepatan bervariasi. Adapun data yang didapatkan dari hasil pengujian dengan kondisi jalan mendatar ini akan ditampilkan kedalam bentuk tabel 1.

Tabel 1. Produksi Energi Listrik Saat Jalan Mendatar

No	Kec. (km/jam)	Nilai rata (A)	Tegangan (volt)	Waktu (S)
1	25	0,78	12	13,39
2	20	0,68	12	12,07

Pemanfaatan Energy Pada Saat Pengereman Dengan Kecepatan 20 Km/Jam



Gambar 3. Grafik arus listrik terhadap waktu pada kecepatan 25 km/jam

Berdasarkan gambar 3, arus yang dibangkitkan alternator saat pemanfaatan pada kecepatan sepeda listrik *hybrid* mencapai 25 km/jam mencapai 0,78 ampere, arus yang dibangkitkan oleh alternator menurun disebabkan putaran alternator yang semakin rendah.

Untuk mengetahui putaran permenit yang terjadi pada alternator, maka sepeda listrik *hybrid* terlebih dahulu diassumsikan berdasarkan data yang telah didapat dengan menempuh kecepatan 25 km/jam atau 6,94 m/s, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam analisa perhitungan produksi listrik dari pemanfaatan energi pada sepeda listrik *hybrid*, maka kecepatan sudut pada roda sepeda listrik *hybrid* dapat diketahui, $\omega = 23,12 \text{ rad/s}$.

Setelah mendapatkan kecepatan sudut pada roda sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 6,94 m/s, maka akan didapat putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*,

$$n_{\text{roda belakang}} = 220,98 \text{ rpm}$$

Dengan mengetahui putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat putaran permenit pada *gear* kopling sepeda listrik *hybrid* yang satu poros dengan *flywheel* dengan perbandingan sprocket roda terhadap *gear* kopling yang satu poros terhadap *flywheel* 2,75:1, $n_{flywheel} = 607,447 \text{ rpm}$.

Saat putaran permenit pada roda 220,98 *rpm* didapat putaran permenit pada *flywheel* 607,447 *rpm* karena perbandingan rasio *gear* kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid* adalah 2,75:1. Setelah mendapatkan putaran permenit pada *gear* kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid*, dengan itu didapat putaran permenit pada alternator dengan rasio sprocket alternator dengan *flywheel* adalah 2,75:1, maka didapat $n_{alternator} = 1670,48 \text{ rpm}$. Setelah putaran permenit pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat daya listrik yang dihasilkan oleh alternator dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh alternator sepeda listrik *hybrid* adalah:

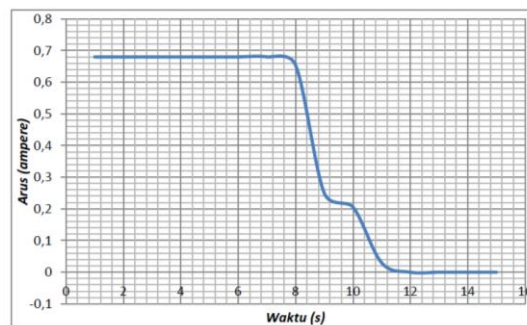
$$P_{out} = 9,36 \text{ watt}, P_{max} = 24 \text{ watt}$$

Sebelum terjadi pengereman pada kecepatan sepeda listrik *hybrid* mencapai 25 *km/jam*, *flywheel* diputar untuk memanfaatkan energy yang terbuang dari sepeda listrik *hybrid* saat pengereman untuk memutar alternator. Pada saat alternator berputar dengan putaran 1670,48 *rpm*, arus yang dihasilkan oleh alternator sebesar 0,78 *ampere* dengan tegangan 12 *volt*, sehingga daya yang dihasilkan oleh alternator pada putaran 1670,48 *rpm* adalah 9,36 *watt*. Setelah mendapatkan daya listrik yang dihasilkan dan daya maksimal pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka didapat nilai persentase daya yang dihasilkan alternator dengan cara membagi daya keluar dengan daya maksimal yaitu didapat, *Pengeluaran Daya yang Bangkitkan* = 39 %.

Maka nilai persentase daya yang dibangkitkan alternator untuk mendapatkan pemanfaatan energy pada sepeda listrik *hybrid* yang didapat dengan kondisi jalan mendatar pada kecepatan 25 *km/jam* adalah 39 %.

Untuk mengetahui analisa berapa lama waktu untuk mengisi akumulator dengan spesifikasi akumulator 40 *Ah* dengan arus yang dihasilkan alternator dari pemanfaatan energi pada kecepatan 25 *km/jam* adalah, $t = 50,28 \text{ jam}$

Pemanfaatan Energy Pada Saat Pengereman Dengan Kecepatan 20 *km/jam*



Gambar 4. Grafik arus listrik terhadap waktu pada kecepatan 25 *km/jam*

Berdasarkan gambar 4, arus yang dibangkitkan alternator saat pemanfaatan pada kecepatan sepeda listrik *hybrid* mencapai 20 *km/jam* mencapai 0,68 *ampere*, arus yang dibangkitkan oleh alternator menurun disebabkan putaran alternator yang semakin rendah.

Variasi percobaan pemanfaatan energi pada sepeda listrik *hybrid* selanjutnya dengan kondisi jalan mendatar pada kecepatan 20 *km/jam*, untuk mengetahui putaran permenit alternator sepeda listrik *hybrid* pada kecepatan 20 *km/jam*, maka harus didapat kecepatan sudut pada roda yaitu $\omega = 18,53 \text{ rad/s}$.

Setelah mendapatkan kecepatan radius pada sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 5,56 *m/s*, maka akan didapat putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*,

$$n_{\text{roda belakang}} = 177,03 \text{ rpm}$$

Dengan mengetahui putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat putaran permenit pada *gear* kopling sepeda listrik *hybrid* yang satu poros dengan *flywheel* dengan perbandingan sprocket roda terhadap *gear* kopling yang satu poros terhadap *flywheel* 2,75:1, $n_{flywheel} = 486,83 \text{ rpm}$.

Saat putaran permenit pada roda 177,03 *rpm* didapat putaran permenit pada *flywheel* 486,83 *rpm* karena perbandingan rasio *gear* kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid* adalah 2,75:1. Setelah mendapatkan putaran permenit pada *gear* kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada

sepeda listrik *hybrid*, maka didapat putaran permenit pada alternator dengan rasio sprocket alternator dengan *flywheel* adalah 2,75:1, maka didapat $n_{alternator} = 1338,78 \text{ rpm}$.

Setelah putaran permenit pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat daya listrik yang dihasilkan oleh alternator dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh alternator sepeda listrik *hybrid* adalah:

$$P_{out} = 8,16 \text{ watt}, P_{max} = 24 \text{ watt}.$$

Sebelum terjadi pengereman pada kecepatan sepeda listrik *hybrid* mencapai 20 km/jam, *flywheel* diputar untuk memanfaatkan energy yang terbuang dari sepeda listrik *hybrid* saat pengereman untuk memutar alternator. Pada saat alternator berputar dengan putaran 1338,78 rpm arus yang dihasilkan oleh alternator sebesar 0,68 ampere dengan tegangan 12 volt, sehingga daya yang dihasilkan oleh alternator pada putaran 1338,78 rpm adalah 8,16 watt. Setelah mendapatkan daya listrik yang dihasilkan dan daya maksimal pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka didapat nilai persentase daya yang dihasilkan alternator dengan cara membagi daya elektrik dengan daya maksimal yaitu didapat *Pengeluaran Daya yang Bangkitkan* = 34 %.

Maka nilai persentase daya listrik yang dibangkitkan alternator untuk mendapatkan pemanfaatan energy pada sepeda listrik *hybrid* yang didapat dengan kondisi jalan mendatar pada kecepatan 20 km/jam adalah 34 %.

Untuk mengetahui analisa berapa lama waktu untuk mengisi akumulator dengan spesifikasi akumulator 40 Ah dengan arus yang dihasilkan alternator dari pemanfaatan energi pada kecepatan 20 km/jam adalah $t = 58,82 \text{ jam}$.

Produksi Energi Pada Saat Jalan Menurun

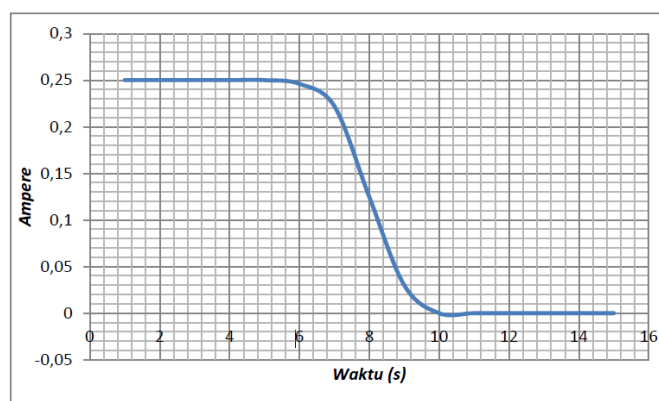
Setelah melakukan pengujian performa dengan variasi yang telah ditentukan, selanjutnya akan dianalisa performa yang digunakan pada tiap-tiap komponen pada sepeda listrik *hybrid*. Diantaranya yaitu pada komponen akumulator dan alternator yang membangkitkan energi listrik pada sepeda listrik *hybrid*, sehingga akan diketahui produksi energy listrik dari keseluruhannya.

Pengambilan data juga dilakukan sebanyak 5 kali dengan interval waktu dan kondisi beban jalan yang berbeda, hal ini bertujuan untuk mendapatkan data yang valid dan menghindari

kesalahan dalam pengambilan data. Langkah pertama untuk mengetahui produksi energy listrik dari sepeda listrik *hybrid* ini adalah dengan cara menganalisa data dari hasil percobaan pada kondisi jalan menurun dan mendatar dengan kecepatan bervariasi. Adapun data yang didapatkan dari hasil pengujian dengan kondisi jalan menurun ini akan ditampilkan kedalam bentuk tabel 2.

Tabel 2. Produksi Energi Listrik Saat Jalan Menurun

No	Kec. (km/jam)	Nilai rata (A)	Tegangan (volt)	Waktu (S)
1	15	0,25	12	9,26
2	10	0,03	12	10,03



Gambar 5. Grafik arus listrik terhadap waktu pada kecepatan 15 km/jam

Untuk mengetahui putaran permenit yang terjadi pada alternator, maka sepeda listrik *hybrid* terlebih dahulu diassumsikan berdasarkan data yang telah didapat menempuh kecepatan 15 km/jam atau 4,17 m/s, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam analisa perhitungan produksi atau pemanfaatan energi pada sepeda listrik *hybrid*, maka kecepatan permenit pada roda sepeda listrik *hybrid* dapat diketahui, yaitu $\omega = 13,9 \text{ rad/s}$. Setelah mendapatkan kecepatan radius pada sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 4,17 m/s, maka akan didapat putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, $n_{roda \text{ belakang}} = 132,8 \text{ rpm}$.

Dengan mengetahui putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat putaran permenit pada *gear* kopling sepeda listrik *hybrid* yang satu poros dengan *flywheel* dengan perbandingan sprocket roda terhadap

gear kopling yang satu poros terhadap *flywheel* 2,75:1, adalah $n_{\text{flywheel}} = 365,2 \text{ rpm}$.

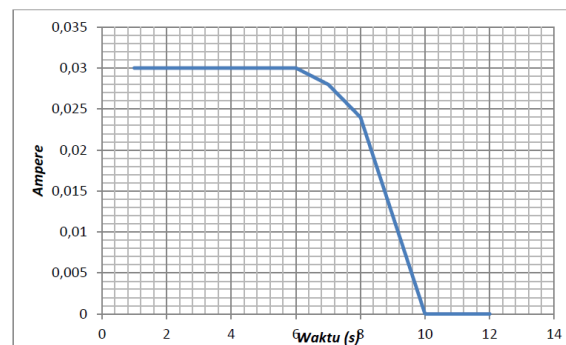
Saat putaran permenit pada roda 132,8 rpm diapat putaran permenit pada *flywheel* 365,2 rpm karena perbandingan rasio gear kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid* adalah 2,75:1. Setelah mendapatkan putaran permenit pada gear kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid*, maka didapat putaran permenit pada alternator dengan rasio sprocket alternator dengan *flywheel* adalah 2,75:1, maka didapat, $n_{\text{alternator}} = 1004,3 \text{ rpm}$.

Setelah putaran permenit pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat daya listrik yang dihasilkan oleh alternator dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh alternator sepeda listrik *hybrid*, $P_{\text{out}} = 3 \text{ watt}$, $P_{\text{max}} = 24 \text{ watt}$.

Sebelum terjadi pengereman pada kecepatan sepeda listrik *hybrid* mencapai 15 km/jam, *flywheel* diputar untuk memanfaatkan energy yang terbuang dari sepeda listrik *hybrid* saat pengereman untuk memutar alternator. Pada saat alternator berputar dengan putaran 1004,3 rpm arus yang dihasilkan oleh alternator sebesar 0,25 ampere dengan tegangan 12 volt, sehingga daya yang dihasilkan oleh alternator pada putaran 1004,3rpm adalah 3 watt. Setelah mendapatkan daya listrik yang dihasilkan dan daya maksimal pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka didapat nilai persentase daya yang dihasilkan alternator dengan cara membagi daya yang dibangkitkan dengan daya maksimal yaitu didapat *Pengeluaran Daya yang Bangkitkan* = 12,5 %.

Maka nilai pengeluaran daya yang dibangkitkan alternator untuk mendapatkan pemanfaatan energy pada sepeda listrik *hybrid* yang didapat dengan kondisi jalan mendatar pada kecepatan 15 km/jam adalah 12,5 %.

Pemanfaatan Energi Pada Saat Jalan Menurun Dengan Kecepatan 10 km/jam



Gambar 6. Grafik arus listrik terhadap waktu pada kecepatan 10 km/jam

Variasi percobaan pemanfaatan energi pada sepeda listrik *hybrid* selanjutnya dengan kondisi jalan mendatar pada kecepatan 10 km/jam, untuk mengetahui putaran permenit alternator sepeda listrik *hybrid* pada kecepatan 10km/jam, maka harus didapat kecepatan sudut pada roda yaitu $\omega = 9,27 \text{ rad/s}$.

Setelah mendapatkan kecepatan radius pada sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 2,78 m/s, maka akan didapat putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, $n_{\text{roda belakang}} = 88,57 \text{ rpm}$.

Dengan mengetahui putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat putaran permenit pada gear kopling sepeda listrik *hybrid* yang satu poros dengan *flywheel* dengan perbandingan sprocket roda terhadap gear kopling yang satu poros terhadap *flywheel* 2,75:1, $n_{\text{flywheel}} = 243,57 \text{ rpm}$.

Saat putaran permenit pada roda 88,57 rpm diapat putaran permenit pada *flywheel* 243,57 rpm karena perbandingan rasio gear kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid* adalah 7:1. Setelah mendapatkan putaran permenit pada gear kopling yang satu poros dengan *flywheel* pada sepeda listrik *hybrid*, maka didapat putaran permenit pada alternator dengan rasio sprocket alternator dengan *flywheel* adalah 2:1, maka didapat $n_{\text{alternator}} = 669,81 \text{ rpm}$.

Setelah putaran permenit pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka akan didapat daya listrik yang dihasilkan oleh alternator dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh alternator sepeda listrik *hybrid* adalah $P_{\text{out}} = 0,36 \text{ watt}$, $P_{\text{max}} = 24 \text{ watt}$.

Sebelum terjadi pengereman pada kecepatan sepeda listrik *hybrid* mencapai 10 km/jam, *flywheel* diputar untuk memanfaatkan energy yang terbuang dari sepeda listrik *hybrid* saat

pengereman untuk memutar alternator. Pada saat alternator berputar dengan putaran 669,81 rpm arus yang dihasilkan oleh alternator sebesar 0,03 ampere dengan tegangan 12 volt, sehingga daya yang dihasilkan oleh alternator pada putaran 669,81 rpm adalah 0,36 watt. Setelah mendapatkan daya listrik yang dihasilkan dan daya maksimal pada alternator sepeda listrik *hybrid*, maka didapat nilai persentase daya yang dihasilkan alternator dengan cara membagi daya elektrik dengan daya maksimal yaitu didapat *Pengeluaran Daya yang Bangkitkan* = 1,5 %.

Maka nilai persentase daya listrik yang dibangkitkan alternator untuk mendapatkan pemanfaatan energy pada sepeda listrik *hybrid* yang didapat dengan kondisi jalan mendatar pada kecepatan

Konsumsi Energi Listrik Pada Sepeda Listrik Hybrid Saat Jalan Mendatar

Setelah melakukan pengujian performa dengan variasi yang telah ditentukan, selanjutnya akan dianalisa performa yang digunakan pada tiap-tiap komponen pada sepeda listrik *hybrid*. Diantaranya yaitu pada komponen motor listrik dan akumulator dalam menyuplai energi listrik pada sepeda listrik *hybrid*, sehingga akan diketahui konsumsi energy listrik dari keseluruhannya. Pengambilan data juga dilakukan sebanyak 5 kali dengan interval waktu dan kondisi beban jalan yang berbeda, hal ini bertujuan untuk mendapatkan data yang valid dan menghindari kesalahan dalam pengambilan data. Langkah pertama untuk mengetahui konsumsi energy listrik dari sepeda listrik *hybrid* ini adalah dengan cara menganalisa data dari hasil percobaan pada kondisi jalan menanjak dan mendatar dengan kecepatan 20 km/jam. Adapun data yang didapatkan dari hasil pengujian ini akan ditampilkan kedalam bentuk tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi Energi Jalan Mendatar

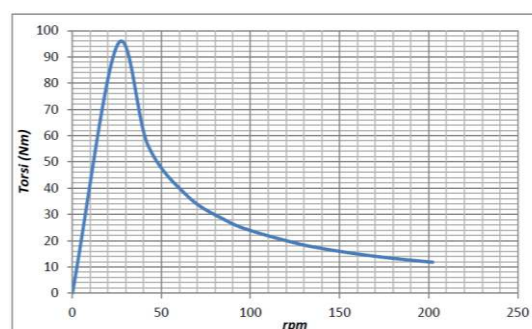
Waktu (s)	Nilai rata-rata (ampere)	Tegangan (volt)
0	0	24
1	1,21	24
2	2,35	24
3	3,74	24
4	4,63	24
5	5,96	24

6	7,34	24
7	9,48	24
8	10,23	24
9	10,35	24
10	10,97	24
11	11,74	24
12	10,42	24
13	10,42	24
14	10,42	24

Dari tabel 3 menunjukkan penggunaan energy pada sepeda listrik *hybrid* terhadap penggunaan waktu dan beban (medan jalan dan massa sepeda listrik *hybrid* berikut pengendara). Analisa performa sepeda listrik *hybrid* akan diawali dengan menghitung torsi yang dibangkitkan oleh motor listrik. Sistem transmisi daya dari energi listrik hingga energi mekanik yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* ini menggunakan sistem transmisi, yaitu adalah menggunakan sistem *chain-sprocket*, sistem *chan-sprocket* ini menghubungkan antara gear luar motor listrik dan gear roda belakang, adapun rasio dari gear roda belakang dan gear motor listrik η_g (rasio gear) = 87,5%.

Untuk mengetahui kecepatan radius yang terjadi pada motor listrik, maka sepeda listrik *hybrid* terlebih dahulu diassumsikan menempuh kecepatan sebesar 20 km/jam = 5,556 m/s, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam analisa perhitungan konsumsi energy listrik pada sepeda listrik *hybrid*, maka kecepatan sudut pada roda sepeda listrik *hybrid* $\omega = 18,52 \text{ rad/s}$.

Setelah mendapatkan kecepatan radius pada sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 5,556 m/s, maka akan didapat putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, $n_{\text{roda belakang}} = 176,92 \text{ rpm}$, $n_{\text{gear motor}} = 202,22 \text{ rpm}$, Torsi (T) = 11,81 Nm.



Gambar 7. Grafik torsi terhadap rpm

Setelah mendapatkan nilai torsi dari karakteristik performa sepeda listrik *hybrid*, maka selanjutnya akan menghitung daya yang dipergunakan oleh sepeda listrik *hybrid* untuk dapat berjalan pada kondisi jalan mendatar dimana torsi sebesar $11,81 \text{ Nm}$ yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid*, adapun momen inersia (I) dari roda sepeda listrik *hybrid* dengan massa roda sebesar $3,41 \text{ kg}$ adalah sebesar $0,1413 \text{ kgm}^2$, gaya linier akselerasinya, $F_{la} = (90 \times a) \text{ Newton}$, sedangkan gaya rolling resistansinya (F_{rr}) = $5,292 \text{ Newton}$. Dan untuk gaya yang dihasilkan dari motor listrik agar dapat mentransmisikan gaya putar yang melalui gear dan dikopel pada roda, $F\omega a = (2,33 \times a) \text{ newton}$.

Maka dari keseluruhan gaya yang terjadi pada pembebanan saat kondisi jalan mendatar dari sepeda listrik *hybrid* adalah sebesar:

$$F_{total} = F_{la} + F_{rr} + F_{\omega a}$$

$$F_{total} = (90 \times a) + 5,292 + (2,33 \times a)$$

$$44,96 = (92,33)a + 5,292 \text{ newton}$$

$$a = 0,43 \text{ m/s}^2$$

Dengan mengetahui karakteristik gaya yang dihasilkan dari analisa perhitungan sepeda listrik *hybrid*, maka daya yang dibutuhkan atau digunakan untuk dapat berjalan pada kondisi jalan mendatar dengan kondisi awal adalah sebagai berikut, $P_{terpakai}(\text{watt}) = 87,61 \text{ watt}$.

Maka besar daya yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* dengan pembebanan awal dengan panjang jarak 25 meter menghabiskan daya pada akumulator sebesar $87,61 \text{ watt}$.

Pada perhitungan konsumsi energi listrik dengan kondisi kecepatan sepeda 20 km/jam dengan menempuh jarak 475 meter , dapat diketahui:

$$F_{total} = F_{la} + F_{rr} + F_{\omega a}$$

$$F_{total} = 0 + 5,292 + 0 \text{ (dikarenakan kecepatan konstan = percepatan 0)}$$

$$F_{total} = 5,292$$

Dengan mengetahui karakteristik gaya yang dihasilkan dari perhitungan sepeda listrik *hybrid*, maka daya (P) yang dibutuhkan atau digunakan untuk dapat berjalan pada kondisi jalan mendatar dengan dengan kecepatan $20 \text{ km/jam} = 5,56 \text{ m/s}$ dengan menempuh jarak 500 meter adalah $29,42 \text{ watt}$

Konsumsi Energi Listrik Pada Sepeda Listrik Hybrid Saat Jalan Mendaki

Pada analisa selanjutnya yaitu analisa performa sepeda listrik *hybrid* engan beban mendaki yang dilakukan ditempat perumahan bukit palm Cilegon Banten Indonesia. Serta dengan mengasumsikan beberapa parameter yang mungkin sama dengan kondisi analisa perhitungan sebelumnya, adapun data hasil pengujiannya sebagai berikut

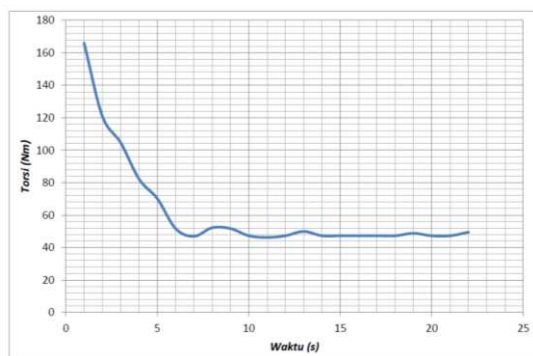
Tabel 4. Konsumsi Energi Jalan Mendaki

No	Waktu Tempuh (s)	Arus (ampere)	Tegangan (Volt)
1	18,31	10,41	24
2	19,16	10,34	24
3	19,05	10,26	24
4	19,27	10,21	24
5	19,33	10,39	24

Dari tabel 4, data yang diambil dari rata-rata tiap pengujian yang dilakukan sebanyak 5 kali percobaan serta kecepatan sepeda listrik *hybrid* yang tidak melebihi 5 km/jam dengan menempuh jarak 25 meter serta dengan sudut krmiringan 220 . Maka karakteristik dari performa sepeda listrik *hybrid* dalam menempuh beban mendaki akan dianalisa secara perhitungan dan dibandingkan berdasarkan pengujian dilapangan. Data pemakaian arus sebesar $10,486 \text{ ampere}$ dan tegangan sebesar 24 volt . Maka daya (P) yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* pada kondisi ini akan sebesar $247,748 \text{ watt}$.

Adapun untuk mengetahui kecepatan radius yang terjadi pada motor listrik, maka sepeda listrik *hybrid* terlebih dahulu diassumsikan menempuh kecepatan sebesar $5 \text{ km/jam} = 1,389 \text{ m/s}$, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam analisa perhitungan konsumsi energi listrik pada sepeda listrik *hybrid*, maka kecepatan sudut (ω) pada roda sepeda listrik *hybrid* yaitu $4,63 \text{ rads}$.

Setelah mendapatkan kecepatan radius pada sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan $5,556 \text{ m/s}$, maka akan didapat putaran permenit pada roda sepeda listrik *hybrid*, $n_{\text{roda belakang}} = 44,235 \text{ rpm}$, $n_{\text{gear motor}} = 50,55 \text{ rpm}$, Torsi (T) = $47,564 \text{ Nm}$.



Gambar 8. Grafik torsi terhadap waktu

Setelah mendapatkan nilai torsi dari karakteristik performa sepeda listrik *hybrid*, maka selanjutnya akan menghitung daya yang dipergunakan oleh sepeda listrik *hybrid* untuk dapat berjalan pada kondisi jalan mendaki dimana torsi sebesar 47,564 Nm yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid*, adapun momen inersia (I) dari roda sepeda listrik *hybrid* dengan massa roda sebesar 3,41 kg adalah sebesar 0,1413 kgm^2 , gaya linier akselerasinya, $F_{la} = 31,23$ Newton, sedangkan gaya rolling resistansinya (F_{rr}) = 5,292 Newton. Dan untuk gaya yang dihasilkan dari motor listrik agar dapat mentransmisikan gaya putar yang melalui gear dan dikopel pada roda, $F_{\omega a} = 0,809$ newton.

Maka dari keseluruhan gaya yang terjadi pada pembebanan saat kondisi jalan mendatar dari sepeda listrik *hybrid* adalah sebesar:

$$F_{te} = F_{la} + F_{rr} + F_{\omega a}$$

$$F_{te} = 31,23 + 5,292 + 0,809 + 330,40$$

$$F_{te} = 367,731 \text{ Newton}$$

Dengan mengetahui karakteristik gaya yang dihasilkan dari analisa perhitungan sepeda listrik *hybrid*, maka daya (P_{te}) yang digunakan untuk dapat berjalan pada saat jalan mendaki dengan jarak 25 meter selama 19 detik adalah 483,85 watt.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisa perhitungan dari performa sepeda listrik *hybrid* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya daya yang dibangkitkan oleh alternator dengan memanfaatkan energi yang terbuang pada kecepatan 25 km/jam saat kondisi jalan mendatar adalah 9,36 watt pada putaran alternator 1670,48 rpm. Sedangkan dengan pemanfaatan energi yang terbuang pada kecepatan 20 km/jam

saat kondisi jalan mendatar, daya yang dibangkitkan alternator sebesar 8,16 watt pada putaran alternator 1338,78 rpm.

2. Besarnya daya yang dibangkitkan oleh alternator dengan memanfaatkan energi yang terbuang pada kecepatan 15 km/jam saat kondisi jalan menurun adalah 3 watt pada putaran alternator 1004,3 rpm. Sedangkan dengan pemanfaatan energi yang terbuang saat kondisi jalan menurun pada kecepatan 10 km/jam, alternator berputar sebesar 669,81 rpm sehingga daya yang dibangkitkan sebesar 0,03 watt.
3. Daya yang dibutuhkan sepeda listrik *hybrid* untuk dapat berjalan pada kondisi pembebanan awal adalah sebesar 87,61 watt dengan menempuh jalan sepanjang 25 meter dengan waktu tempuh 12,83 detik.
4. Daya yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* untuk kondisi jalan mendatar pada kecepatan pada kecepatan konstan 20 km/jam adalah sebesar 153,25 watt dengan menempuh jarak 475 meter.
5. Daya yang digunakan oleh sepeda listrik *hybrid* dengan kecepatan 5 km/jam pada beban perjalanan mendaki sejauh 25 meter dengan kemiringan 22° sebesar 483,85 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chu, L.C, Tsai, C.M, and Chen, Y.H (2011), Torque Control of Brushless DC Motor Applied to Electric Vehicle, Taiwan, University of Technology and National Cheng Kung University.
- [2] Daryanto (2011), Teknik Konversi Energi, Jakarta, PT Sarana Tutorial Nurani Sejahtera
- [3] Suharto, M. (2010), Makna dan Dampak Kompetisi Shell Eco-marathon, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.
- [4] Sutrisna, A. (2014), Analisa Konsumsi Energi pada Sepeda Motor Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

- [5] Trisnaningtyas, S. (2012), Pengembangan Model Regenerative Brake pada Sepeda Listrik untuk Menempuh Jarak Tempuh dengan Variasi Kecepatan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sepuluh Nopember (ITS).
- [6] Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia – WWW.energyefficiencyasia.org
UNEP